


화학적 재활용: 해결책이 아닌 눈속임



석유, 가스, 석유화학 업계는 플라스틱 오염 위기의 해결책으로 "화학적 재활용"을 밀고 있습니다. 업계는 이 기술로 플라스틱 재활용의 현 실패를 극복하고 플라스틱의 완전한 순환경제를 실현할 수 있다고 주장하고 있으나, 이러한 주장을 뒷받침할 증거는 내놓지 못하고 있습니다. 플라스틱 재중합(repolymerization)의 실현 가능성과 영향은 여전히 매우 불확실한 가운데, 업계에서는 "화학적 재활용"이라는 용어로 플라스틱연료화 기술을 친환경이라 포장하면서 플라스틱의 지속적인 사용과 폐기에 대해 대중의 지지를 얻어내려 하고 있습니다.

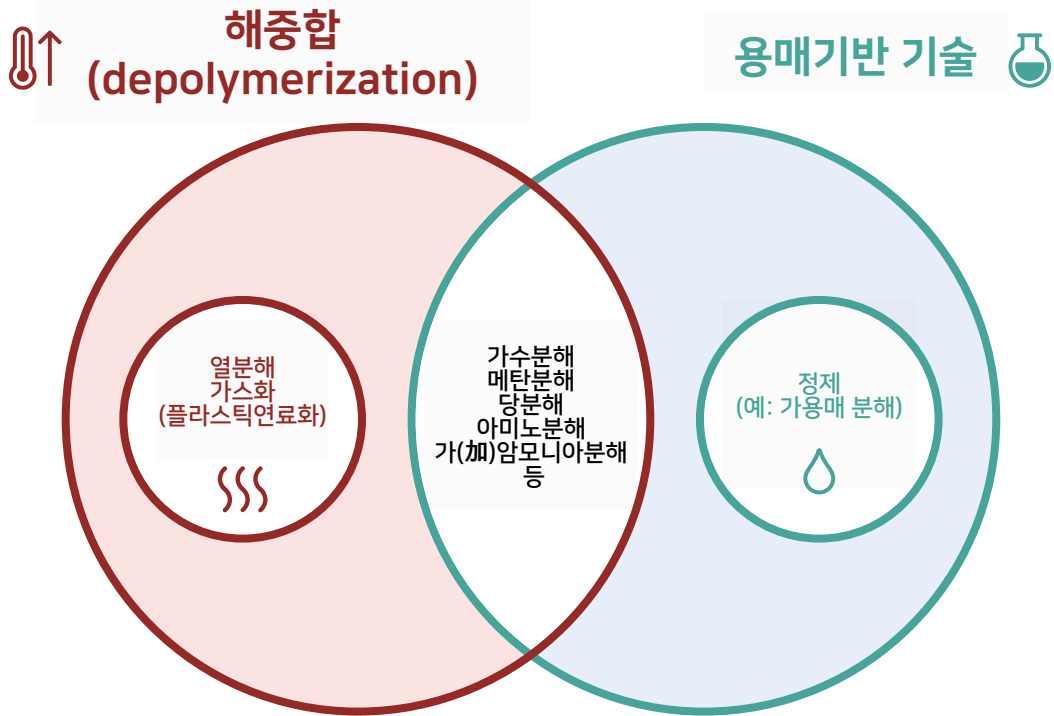
이 브리프는 최근에 발표된 기술평가보고서 '화학적 재활용: 현황, 지속가능성, 환경적 영향'을 바탕으로, "화학적 재활용"이라고 불리는 여러 가지 기술을 밝히고 각 공정의 독성, 기후 영향, 기술 수준, 경제성, 순환성 등에 대해 다루고 있습니다.

화학적 재활용이란?

화학적 재활용은 일반적으로 열, 압력, 감손 산소, 촉매 및/또는 용매 등을 조합해 폐 플라스틱을 분해하여 연료나 새 플라스틱의 구성요소로 만드는 기술을 말합니다. "재활용"이라는 용어는 플라스틱을 다시 플라스틱으로 되돌리는 공정에만 적용되어야 하지만, 석유화학업계는 연료를 만드는 비슷한 공정도 "화학적 재활용"이라고 부르며, 최근에는 "고도 재활용"이라고도 부릅니다.

기술의 유형 (열분해 및 용매기반 기술)

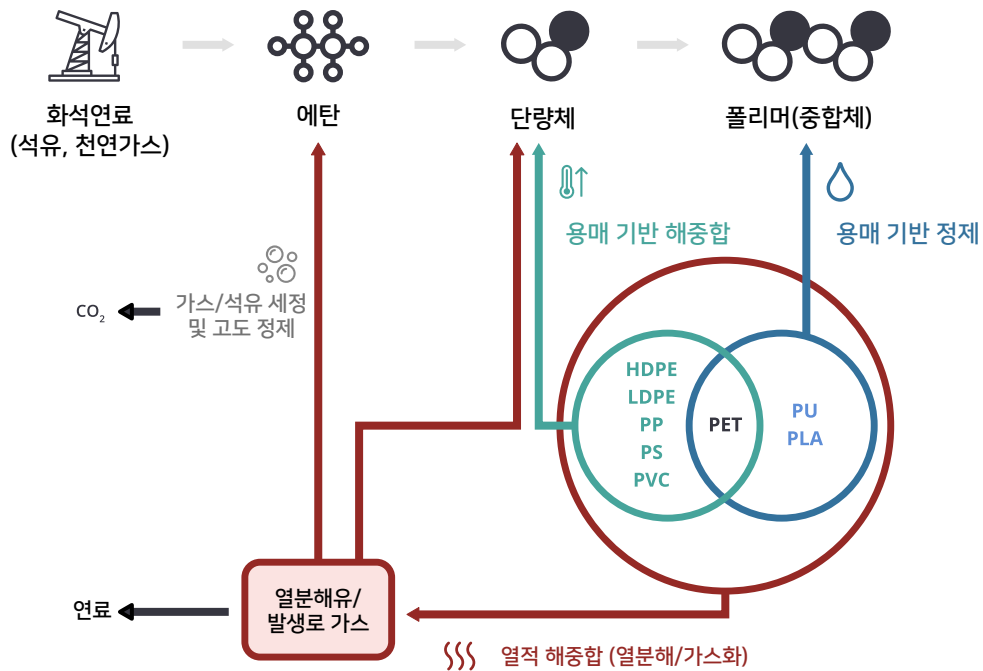
열분해와 가스화는 연소를 막기 위해 산소가 제한된 상태에서 열을 이용하여 플라스틱을 분해합니다. 열분해와 가스화 두 기술 모두 고분자 혼합물에 쓸 수는 있지만 결과물의 품질이 좋지 않습니다. 예를 들어 열분해에서는 오염된 디젤 류의 기름이 나오고 가스화를 통해서서는 수소(H₂)와 일산화탄소(CO) 같은 저품질의 발생로(發生爐) 가스가 만들어집니다. 가용매분해는 플라스틱 고분자를 분해하지 않고 플라스틱의 불순물을 제거하며, 기타 용매기반 기술들은 고분자를 단분자 물질로 분해합니다. 공장 시설은 각각 특정 고분자 유형만 취급할 수 있기 때문에 유연성과 효율성에 한계가 있을 뿐 아니라 전처리를 위한 고급 분류 기술을 필요로 합니다.



△ 화학적 재활용 관련 용어

플라스틱연료화와 화학적 재활용 간의 차이점

이러한 기술을 통해 만들어지는 대부분의 기름과 가스는 저질 연료로 태우거나 이론상 새 플라스틱으로 가공하는 데 사용될 수 있습니다. 일부 기업들은 폴리머(중합체) 생산을 목표로 하지만, 플라스틱으로 만들려면 대대적인 오염 제거와 농축이 필요하기 때문에 대개는 현장에서 소각 처리됩니다. 플라스틱을 연료로 바꾸는 것("플라스틱연료화")은 신규 플라스틱을 대체하는 것이 아니며, 따라서 순환 경제에 기여하는 바가 없으므로 플라스틱연료화는 재활용 방안으로 볼 수 없습니다. 연소시킬 경우, 연소 결과물의 환경 영향은 다른 화석 연료들과 비슷합니다.

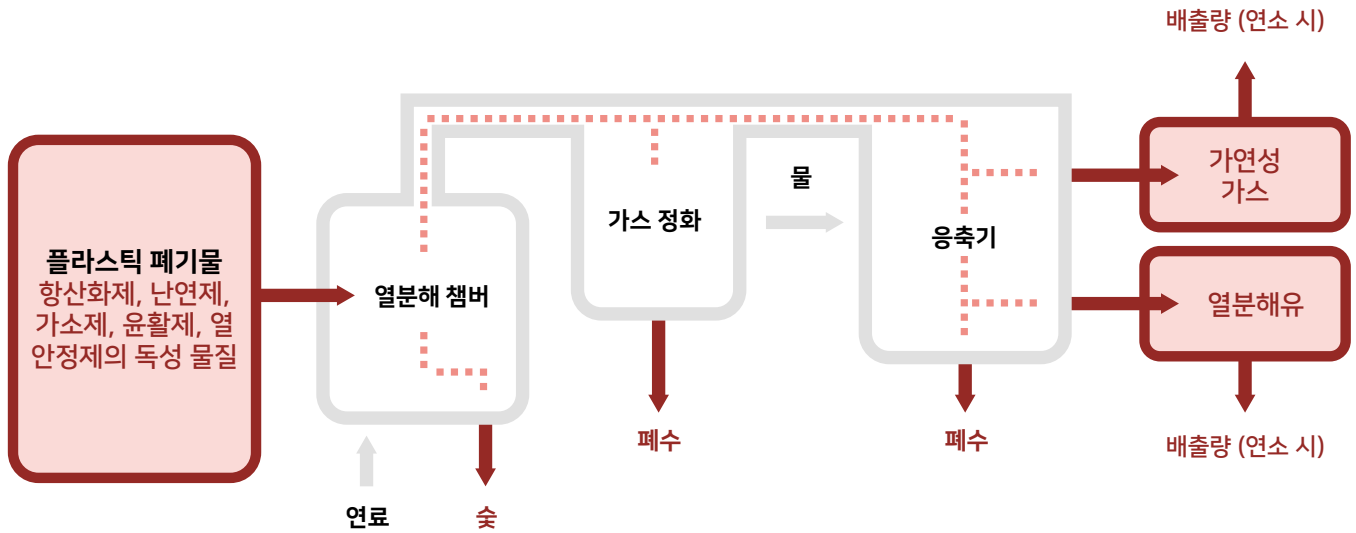


△ 화학적 재활용 공정의 일반적 모식도

데이터 부족과 낮은 투명성

이러한 기술들이 실제 상황에서 어떻게 작동하는지에 대한 유용한 정보가 부족합니다. 대부분의 연구는 실험실 단위의 소규모로 수행되고 있으며, 이 연구들은 환경 영향을 평가하는 것보다는 공정의 유용성을 보여주는 것에 초점이 맞춰져 있습니다. 데이터의 부족은 공정에 혼합된 원료 또는 비 표준 원료를 투입하거나 기업에서 작업 규모를 확대하려 할 경우, 공정의 가동 과정에서 추가적인 문제들이 발생하기 때문일 수 있습니다. 일부 신기술, 예를 들어 용매기반 공정 및 효소기반 공정은 열분해와 가스화에 비하면 개발 초기 단계에 있으며, 공정의 효율성과 독성, 특히 용매의 사용 후 처리 방법 등에 대한 데이터가 열분해나 가스화보다도 훨씬 더 적습니다.

유해물질 배출과, 환경, 인체에의 영향



△열분해 공정에서 나오는 플라스틱 독성 물질의 발생과 처리

데이터 부족에도 불구하고, 기존 연구들은 플라스틱 폐기물을 열분해하고 가스화할 때 독성 물질이 방출된다는 것을 보여주고 있습니다. 플라스틱에는 대개 비스페놀-A(BPA), 카드뮴, 벤젠, 브롬화 화합물, 프탈레이트, 납, 주석, 안티몬, 휘발성유기화합물(VOCs) 등, 이미 국가 규정으로 금지된 독성 첨가제와 오염 물질들이 들어있습니다. 이러한 독성 첨가제와 오염 물질들은 사실상 여과되지 않은 채 화학적 재활용 공정의 결과물과 부산물 등에 모두 스며듭니다. 고열 처리 과정에서 새로이 형성되는 기타 독성 화학 물질에는 여러 가지가 있지만 그 중에서도 벤젠, 톨루엔, 포름알데히드, 염화비닐, 시안화수소, PBDEs(polybrominated diphenyl ethers, 폴리브롬화 디페닐 에테르 류), PAHs(다환방향족탄화수소, Polycyclic aromatic hydrocarbons), 고온의 타르 등을 꼽을 수 있습니다.

독성 물질은 열분해유(熱分解油), 발생로(發生爐) 가스, 숯, 대기 방출 물질, 그리고 회분(灰分)과 오폐수 등, 다양한 산출물에서 발견됩니다. 특히 열분해유는 일반 디젤에 비해 고체 찌꺼기, 다이옥신, PAHs(다환방향족탄화수소) 등으로 훨씬 더 심하게 오염되어 있습니다. 표준 엔진에 사용하는 디젤보다 질소산화물(NO_x), 그을음, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 배출량이 훨씬 많기 때문에, 연료로 쓰려면 상당한 후처리 세정도 필요합니다. 화학적 재활용 제품에서 독성 물질을 없애는 것은 대단히 어렵고, 비용도 많이 들며, 게다가 또 다른 독성 폐기물의 유출로 이어집니다.

경제적인 이유와 규제에 따라, 화학적 재활용 사업체는 대부분 기존의 석유화학 시설이 있는 곳에 함께 있을 가능성이 높습니다. 이런 상황은 이미 불균형적으로 누적된 환경 부담을 겪고 있는 지역사회의 환경 보건 영향을 더욱 악화시킬 것입니다.

에너지 소비와 탄소 배출

외부 에너지를 필요로 하는 에너지 집약적 공정

화학적 재활용 기술은 에너지 집약적이라, 공정 결과물 일부를 태워 에너지를 생성하더라도 대량의 외부 열 및/혹은 압력을 필요로 합니다. 플라스틱 폐기물의 전처리와 제품의 오염 제거 및 고도 정제에 필요한 에너지 외에도, 가스화와 열분해 공정은 플라스틱을 가스, 액체, 고체 등으로 분해하기 위해 외부 열원을 필요로 합니다. 화학적 재활용 공정 중 어느 것도 현재 에너지 자급이 가능한 사례는 없으며 이러한 상황은 향후 수십 년 간 바뀌지 않을 것으로 보입니다. 새 플라스틱을 만들기 위한 중합 공정에는 훨씬 더 많은 에너지가 필요합니다. 예를 들어, 화석 연료 1톤을 플라스틱으로 바꾸려면 1톤의 화석 연료 에너지원이 필요합니다.

공정 가동 중 이산화탄소(CO₂) 배출

외부 에너지 투입과 관련된 이산화탄소(CO₂) 배출 외에도, 화학적 전환 과정 그 자체에서도 상당량의 이산화탄소(CO₂)가 발생합니다. 특히 가스화 공정의 경우, 가스 고도 정제 단계에서 플라스틱 원료에 들어있는 탄소의 절반 이상이 방출됩니다.

공정 산출물 소각으로 발생하는 이산화탄소(CO₂) 배출

사실상 모든 플라스틱은 화석 연료로 만들어지며, 열분해유, 발생로 가스, 숯 등 화학적 재활용 공정의 산출물을 소각하면 플라스틱을 직접 태울 때와 동등한 양의 이산화탄소(CO₂)가 배출됩니다. 플라스틱을 생산하고, 고열 및 화학 반응의 조합으로 플라스틱 폐기물을 처리하고, 그 결과물을 연료로 태우는 것은 결국 모두 화학적 재활용의 탄소 발자국 수준을 큰 폭으로 높입니다.

끝나지 않는 플라스틱 생산으로 인한 온실가스(GHGs) 증가

화학적 재활용 공정으로 인한 온실가스 배출만이 문제가 아닙니다. 이러한 기술적 해결책을 밀어붙임으로써 플라스틱의 과잉 생산이 계속 이어지는 것도 문제입니다. 플라스틱 업계는 2025년까지 생산 능력을 현재 대비 1/3까지 늘릴 준비가 되어 있습니다. 화학적 재활용 공정은 플라스틱 생산을 제한하거나 자원의 순환에 기여하기보다, 플라스틱의 생산과 폐기를 늘립니다.

낮은 사업 실행 가능성

기술적 문제

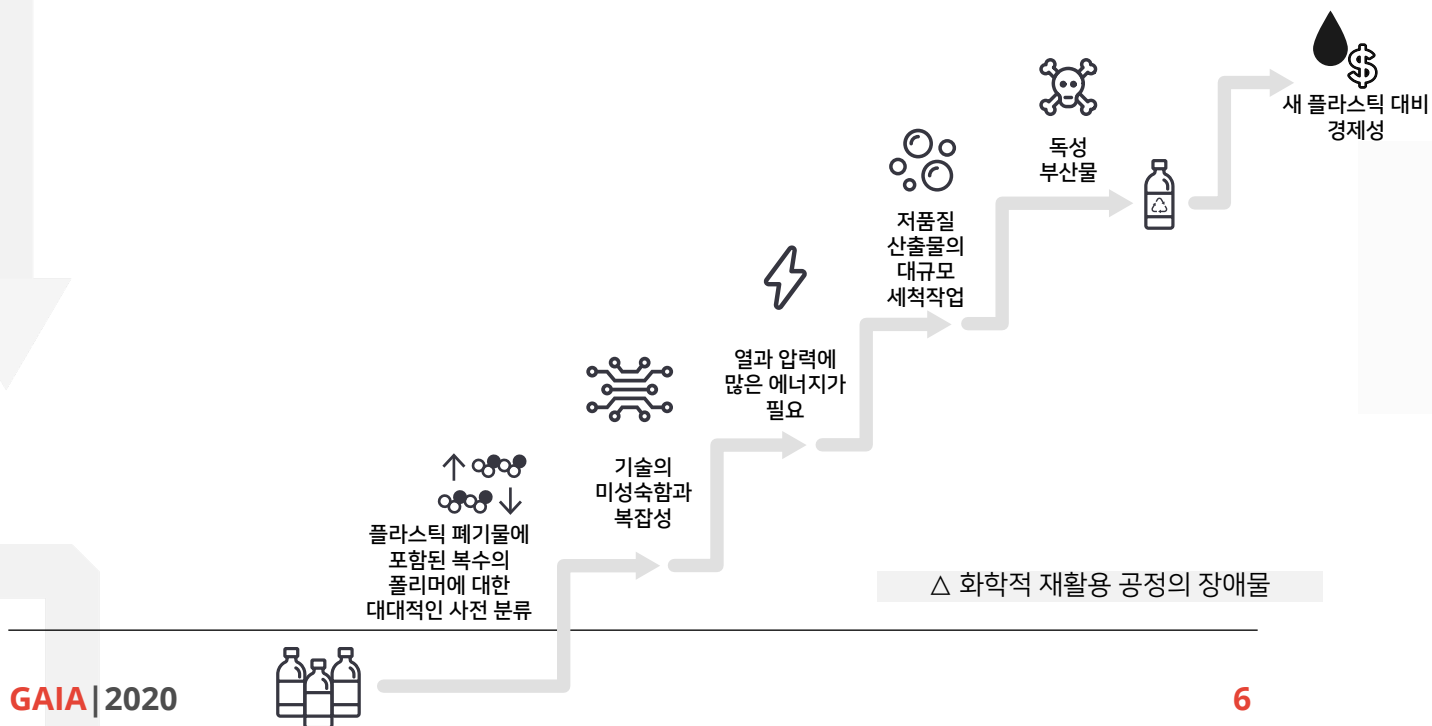
열분해나 가스화의 경우 석탄이나 목재 같이 비교적 단순한 원료에 대해서는 상대적으로 충분한 이해가 이루어져 있으나, 오염이 심하고 여러 가지가 섞인 플라스틱 폐기물 원료를 다루는 데 있어서는 작업 과정에서 지속적으로 여러 문제에 봉착하고 있습니다. 이 공정에서 나오는 석유와 가스는 심하게 오염되어 있고 품질이 낮아, 사용 기준을 충족하려면 대대적인 오염 제거와 농축이 필요합니다. 학계와 업계의 많은 관련자들은 화학적 재활용 기술에 경제적 운용 가능성이 없다는 점을 인정하고 있습니다.

용매 기반 기술들의 성숙도는 이보다도 훨씬 낮습니다. 쓸만한 데이터를 낸 기존의 연구실 규모 혹은 파일럿 규모의 기업들은 높은 에너지 수요와 운용 비용, 기후에 미치는 막대한 영향, 공정 결과물과 용매에 잔류하는 독성 물질 같은 것들로 인해 어려움을 겪고 있습니다. 이탈리아에 있던 세계 유일의 상용화된 규모의 가용매분해 공장은 이 문제로 폐업을 했습니다.

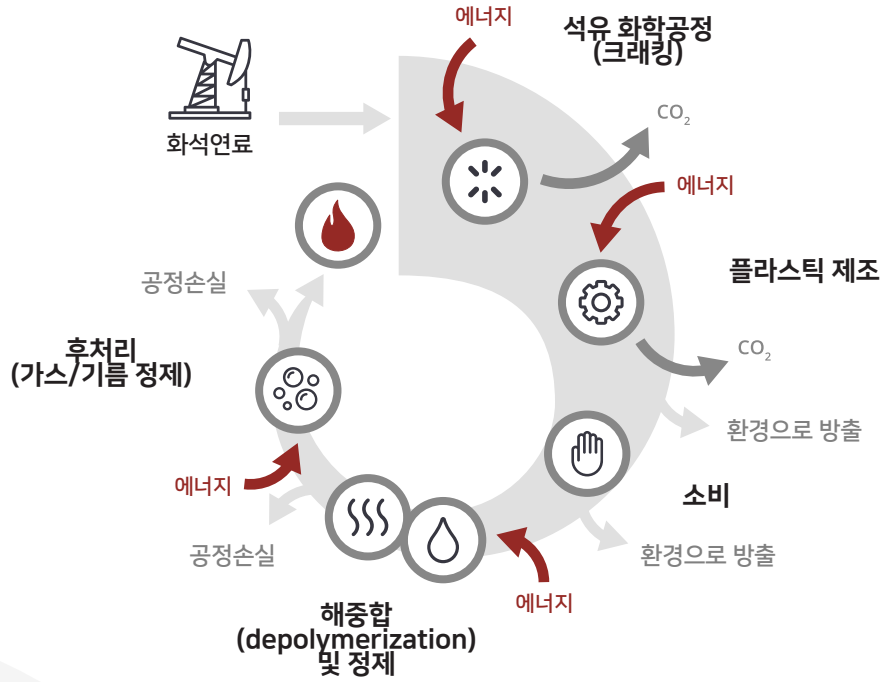
낮은 경제성

폐 플라스틱에 적용한 건 비교적 최근이지만, 플라스틱 함유 도시 폐기물의 열분해 및 가스화 연구는 1950년대부터 있었습니다. 혼합 폐기물을 가스화 또는 열분해를 통해 에너지로 전환하려는 시도는 수십 년 간 화재, 폭발 사고나 재정적 손실 등을 겪으며 세계 곳곳에서 큰 실패를 겪었습니다. 2017년까지, 프로젝트가 취소되거나 실패하면서 이 기술에 투자되어 낭비된 돈은 최소 20억 달러 (한화 약 2조 6억)입니다. 이런 프로젝트 상당수의 실패 요인은 무엇보다도 취약한 수익 모델, 허가 취득의 복잡성, 높은 운영비 등이었습니다.

폐 플라스틱을 플라스틱으로 재증합하려면 소비자가 사용하고 버린 플라스틱 폐기물의 철저한 분류와 세척, 막대한 에너지 투입, 공정 결과물에 대한 대대적인 오염 제거와 농축 등이 필요합니다. 이로 인해 설비 운영비용은 높아지고 생산량은 낮아지므로 화학적 재활용 제품의 경쟁력은 새 플라스틱에 견줄 수가 없습니다.



제한적인 순환성



▲ 플라스틱의 전체 수명 주기에 걸친 "화학적 재활용" 및 플라스틱연료화 관련 온실가스 배출

어떤 기술을 사용했든, 공정의 결과물이 소각된다면 그 공정은 재활용으로 볼 수 없습니다. 폐 플라스틱을 플라스틱으로 재중합하는 작업이 새 플라스틱을 만들어내고 화석연료 추출 수요를 줄이는 것과 달리, 플라스틱을 연료로 전환하는 것은 플라스틱 생산과 사용으로 인한 환경적 영향을 경감시키지 않습니다. 유럽연합의 폐기물처리 기본지침(EU's Waste Framework Directive)은 플라스틱 재활용의 정의에서 플라스틱연료화를 명백히 제외하고 있습니다.

현재 사용 가능한 가장 진보한 폐플라스틱재중합 기술로도 단량체로 전환되는 폐 플라스틱은 극히 일부일 뿐이고, 대부분은 공정 진행 중 소실되거나 소각됩니다. 플라스틱 재중합 기술의 실질적인 가능성은 아직 입증되지 않았으며, 독성 물질, 온실가스 배출, 잔여물 관리 등 여러 가지 우려 사항에 대해 엄격한 규제가 필요합니다. 이러한 규제가 법제화되기 전까지는, 독성 물질을 더 적게 배출하고 탄소 발자국을 줄이기 위해 선택할 수 있는 좀 더 확실한 기술은 물질 재활용입니다.

결론

여러 증거들이 "화학적 재활용"은 플라스틱 문제 해결책으로 적합하지 않다는 것을 보여주고 있습니다. 기술적, 경제적, 환경적 문제들이 산적해 있습니다.

- 1** "화학적 재활용"은 환경에 독성 화학물질을 배출합니다. 플라스틱에는 다양한 독성 물질이 함유되어 있으며, 플라스틱을 고온에서 취급하면 더 많은 독성 물질을 만들어 냅니다. 독성 물질은 공정 결과물과 부산물 양쪽 모두에 남아 결국 대기 오염물질이나 독성 잔여물의 형태로 환경으로 방출되고, 특히 공정 산출물을 소각할 경우 더욱 유독성 물질의 배출이 늘어납니다.
- 2** "화학적 재활용"은 커다란 탄소 발자국을 남깁니다. 이 공정은 에너지 집약적이며 외부 에너지를 필요로 합니다. 공정 자체에서 직접 온실가스(GHG)를 배출하고 산출물을 소각하는 것 외에도, 화학적 재활용은 플라스틱 생산을 위해 지속적 화석 연료 추출을 고착화함으로써 기후 변화를 더욱 악화시킵니다.
- 3** "화학적 재활용"은 아직 대규모 작업에 대해 검증되지 않았습니다. 화학적 재활용은 상용화 가능한 규모로 발전하기 어려운 기술이며, 빠르게 악화되는 전 세계 플라스틱 폐기물 문제 해결에 있어 주도적 역할을 할 수도 없습니다. 양산 회사는 거의 없고, 공장들은 원료 가공부터 공정에서 나오는 gas와 기름의 세정 및 고도 정제에 이르기까지 공정의 각 단계에 도사린 기술적 장애물들과 맞닥뜨리고 있습니다. 용매 기반 기술은 열분해 및 가스화보다 성숙도가 훨씬 낮은 상태입니다.
- 4** "화학적 재활용"은 시장 경쟁력이 없습니다. 업계는 크게 실패한 전적이 있으며, 폐플라스틱재중합이든 플라스틱연료화든 모두 값비싼 에너지 투입을 필요로 합니다. 이 공정의 최종 결과물은 신규 폴리머와 경쟁이 되지 않습니다.
- 5** "화학적 재활용"은 순환 경제에 맞지 않습니다. 대부분의 기업에서 산출물을 연료로 불태우고 있으며, 실제로 최첨단 기술로도 새 플라스틱이 되는 것은 폐 플라스틱 중 극히 일부에 불과합니다. 따라서 신규 플라스틱 생산을 대체하지 못하는 한, 화학적 재활용은 순환 경제라는 영역에 들어갈 수 없습니다.

채굴형 화석 연료 경제에서 순환 경제로의 구조적 전환이 시급한 상황에서, 화학적 재활용은 기껏해야 주의를 흐트러뜨리는 역할 정도만 하고 있을 뿐입니다. 효과가 보장되어 있고 실행 가능성이 높은 해결책은 플라스틱의 생산과 소비를 줄이는 것에 초점을 맞추는 자원순환(zero waste) 정책과 프로그램입니다.

참고자료

- Rollinson, A., Oladejo, J. (2020). [Chemical Recycling: Status, Sustainability, and Environmental Impacts](#). GAIA.
- Tangri, N., Wilson, M. (2017). [Waste Gasification & Pyrolysis: High Risk, Low Yield Processes for Waste](#). GAIA.
- Siman, J., Martin, S. (2019). [El Dorado of Chemical Recycling. State of play and policy challenges, Management](#). Zero Waste Europe.
- Feit, S. et al. (2019). [Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet](#). Center for International Environmental Law.

이 출판물은 부분적으로 플라스틱 솔루션 펀드(Plastic Solutions Fund)의 지원을 받았습니다.